

Développement et évaluation de la précision d'une méthode de démixage linéaire dans l'infrarouge thermique pour l'estimation des températures de surfaces urbaines : préparation de la future mission satellite TRISHNA

Les villes concentrent 54% de la population mondiale et les estimations prévoient une hausse de la densité de la population urbaine à 66 % pour 2050 [1]. Qui plus est, une étude récente prévoit dans un de ses scénarios critiques une hausse des températures dans les villes de 7°C d'ici la fin du siècle [9]. Cette hausse de température est non seulement liée au réchauffement climatique mais est surtout accentuée dans les villes par la présence de ce que l'on appelle l'effet d'Ilot de Chaleur Urbain (ICU), qui est défini comme la différence de température entre la zone urbaine et la zone rurale environnante. En effet, le climat urbain est dû à de nombreux facteurs : structure 3D et très hétérogène (présence de hauts bâtiments, quartiers résidentiels ou industriels, parcs ...), large abondance de matériaux imperméables à forte inertie thermique, réduction des surfaces végétalisées, trafic routier, dispositifs de chauffage et de climatisation ... [16, 23, 8]. En termes de conséquences, cette haute variabilité climatique au sein de la ville et ces températures urbaines élevées entraînent notamment une hausse de la pollution atmosphérique, une variation du climat à l'échelle régionale et des enjeux de santé publique (troubles du sommeil, mortalité) [12, 10, 5, 3]. Une étude parue en 2017 stipule que 30% de la population mondiale est actuellement exposée au risque de mortalité lié aux vagues de chaleur et présente une hausse de ce risque de 48 % à 74% d'ici 2100, avec une exposition au risque plus importante dans les zones urbaines [15].

En télédétection, on parle plutôt d'Ilot de Chaleur Urbain de Surface (ICUS) car ce n'est pas la température de l'air qui est mesurée mais la température de surface (LST pour *Land Surface Temperature*). Ce paramètre clé dans l'étude des ICUS est indirectement mesurable par télédétection optique aéroportée et/ou satellite à travers des mesures de luminances dans le domaine spectral de l'infrarouge thermique (LWIR pour *Long Wave InfraRed* [8-14] μm) [22, 24]. Des études montrent la contribution de la télédétection pour caractériser les ICUS et les algorithmes appropriés pour effectuer la correction atmosphérique et estimer la LST tels que le *Split-Window* et le *TES* (*Temperature Emissivity Separation*) [21, 24, 13].

TRISHNA est une future mission multispectrale spatiale franco-indienne (collaboration CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) ISRO (*Indian Space Research Organization*)) qui aura notamment comme objectif la détection et le suivi des ICUS. Sa résolution spatiale sera de 50 m en infrarouge thermique avec trois ou quatre bandes spectrales, de 20 m dans le VNIR (Visible and Near-Infrared) et sa période de revisite de 1 à 3 jours [11].

Le projet CATUT initié en 2016 (*Cartographie des Températures Urbaines avec TRISHNA*) a déjà permis d'évaluer la précision des méthodes *Split-Window* et *TES* pour estimer la température de surface selon la résolution spatiale et la configuration instrumentale [2, 14]. À partir de mesures aéroportées issues du capteur *AHS* (*Airborne Hyperspectral Scanner*) durant la campagne DESIREX [20] sur la ville de Madrid en journée et durant la nuit, des données multispectrales satellites TRISHNA ont été simulées à 60m et à 4m. Les produits de LSTs et d'émissivité ont été comparés avec des mesures terrain et aéroportées déjà traitées pour la caractérisation de l'ICUS de Madrid [4].

Néanmoins, les objets urbains font en moyenne entre une dizaine et une vingtaine de mètres de large [17] et une résolution spatiale d'au plus 50m est nécessaire pour retirer des informations pertinentes à l'échelle du quartier sur la ville de Madrid [19]. Cette considération implique l'utilisation de méthodes pour retrouver plusieurs températures et matériaux ainsi que leur proportion (abondance) au sein d'un même pixel (températures et émissivités subpixelliques) : c'est ce que l'on appelle des méthodes de démixage thermique. En particulier, Manuel Cubero-Castan [6] a développé *TRUST* (*Thermal Remote sensing Unmixing for Subpixel Temperatures*), une méthode basée sur des hypothèses qui après l'étape de localisation de pixels purs et l'estimation des températures et émissivités pour ces pixels avec le *TES*, permet d'estimer les cartes d'abondances et de températures de pixels mixtes en procédant à la minimisation de deux fonctions de coût. Sur des données synthétiques, la précision sur les abondances est de 3% et de 3K sur les températures. Cette méthode a été testée sur les données aéroportées *AHS* (4m de résolution pour 10 bandes dans le LWIR) et TASI (1m de résolution pour 32 bandes dans le LWIR) sur des matériaux urbains et présente des résultats prometteurs pour être appliquée sur de nouveaux jeux de données.

Par conséquent, l'objectif de ce stage est d'évaluer les performances de la méthode TRUST au capteur multispectral thermique de la mission TRISHNA. Deux étapes sont identifiées. Premièrement, une évaluation des performances de TRUST en fonction de la dégradation de la résolution spatiale sera réalisée. Pour cela, on disposera d'images multispectrales thermiques (3 - 4 bandes) simulées en haut de l'atmosphère à partir de données aéroportées acquises sur Madrid et à différentes résolutions spatiales (de 8m à 60m). De plus, une carte d'émissivité de la ville de Madrid sera disponible à la résolution de 4m et servira d'entrée à la méthode TRUST. Les résultats seront évalués en comparaison avec des mesures terrain sur quelques zones de la ville mais également avec une carte de température de surface construite à l'échelle de 4m en étudiant le conditionnement des données, la variance de l'estimation et l'erreur de reconstruction notamment. Dans la seconde étape, la méthode sera appliquée aux conditions de fonctionnement de l'instrument TRISHNA avec une résolution spatiale de 60m. Pour estimer les températures de surface subpixeliques, deux scénarios seront analysés en fonction des données d'entrée disponibles : utilisation de la carte d'émissivité de référence à 4m puis utilisation d'une carte d'émissivité à 20m qui sera issue de la classification des matériaux construite à partir des canaux visible et proche infrarouge. De même que précédemment, les performances d'estimation seront évaluées en comparaison avec l'image de température de surface de 4m en fonction de la résolution spatiale, du nombre de matériaux dans la scène et de leurs propriétés optiques. Si le temps le permet, l'utilisation de plusieurs images pourra être envisagée pour améliorer l'estimation en apportant de l'information multitemporelle [7].

Le stage se fera à l'ONERA de Toulouse, dans le département DOTA (Département Optique Théorique Appliquée) au sein de l'équipe POS (Propriétés Optiques des Scènes) en collaboration avec l'INRA-ISPA de Bordeaux (Jean-Pierre Lagouarde).

Profil : Etudiant-e en M2R (Master 2 Recherche) ou M2I (Master 2 Indifférencié) ou école d'ingénieur-es en traitement du signal (séparation aveugle de sources, estimation, classification, optimisation ...) et une solide maîtrise des langages de programmation (Python, Matlab, IDL...). Des connaissances en télédétection et transfert radiatif seront un plus appréciable.

Contact : Aurélie Michel : aurelie.michel@onera.fr , 05 61 33 25 02.

Durée : 4 à 6 mois

Références

- [1] World urbanization prospects. Technical report, United Nations, 2014.
- [2] K. Adeline, A. Michel, X. Briottet, J. P. Lagouarde, and J.A. Sobrino. Challenges of the franco-indian multispectral thermal spatial mission for urban heat islands monitoring. RAQRS : Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, September 2017.
- [3] G Brucker. Populations vulnérables : les leçons de la canicule de l'été 2003 en europe. *Eurosurveillance*, 10(2), 7 2005.
- [4] Rosa Oltra Carrio. *Thermal Remote Sensing of Urban Areas. The case study of the Urban Heat Island of Madrid*. PhD thesis, Universitat de Valencia, 2013. An optional note.
- [5] P. J. Crutzen. New Directions : The growing urban heat and pollution "island" effect impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38 :3539–3540, 2004.
- [6] M. Cubero-Castan, J. Chanussot, V. Achard, X. Briottet, and M. Shimoni. A physics-based unmixing method to estimate subpixel temperatures on mixed pixels. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(4) :1894–1906, April 2015.
- [7] Manuel Cubero-Castan. *Etude du démixage en imagerie hyperspectrale infrarouge*. PhD thesis, 2014. Thèse de doctorat dirigée par Chanussot, Jocelyn et Briottet, Xavier Signal, image, paroles, télécoms Grenoble 2014.
- [8] Catherine Dubois. *Adapter les quartiers et les bâtiments au réchauffement climatique : une feuille de route pour accompagner les architectes et les designers urbains québécois*. PhD thesis, Universitat de Laval, 2014.
- [9] Francisco Estrada, W. J. Wouter Botzen, and Richard S.J. Tol. A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6) :403–406, 6 2017.

- [10] Huff. Urban, topographic and diurnal effects on rainfall in the st. louis region. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5) :565–577, 1978.
- [11] J. P. Lagouarde, B. K. Bhattacharya, S. S. Sarkar, B. Boissin, P. Crebassol, and P. Gamet. Trishna : A new high resolution thermal infrared indo-french mission concept. September 2017.
- [12] Landsberg. Concerning possible effects of air pollution on climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 57(2) :213–218, 1976.
- [13] Zhao-Liang Li, Bo-Hui Tang, Hua Wu, Huazhong Ren, Guangjian Yan, Zhengming Wan, Isabel F. Trigo, and José A. Sobrino. Satellite-derived land surface temperature : Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131(Supplement C) :14 – 37, 2013.
- [14] A. Michel, K. Adeline, X. Briottet, J.A. Sobrino, L.Poutier, V. Achard, C. Ottlé, T. corpetti, and J. Nabucet. Catut 2017 report, 2017.
- [15] C. Mora, B. Dousset, I. R. Caldwell, F. E. Powell, R. C. Geronimo, C. R. Bielecki, C. W. W. Counsell, B. S. Dietrich, E. T. Johnston, L. V. Louis, M. P. Lucas, M. M. McKenzie, A. G. Shea, H. Tseng, T. W. Giambelluca, L. R. Leon, E. Hawkins, and C. Trauernicht. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7 :501–506, July 2017.
- [16] T. R. Oke. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455) :1–24, 1982.
- [17] C. Small. Multiresolution analysis of urban reflectance. In *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (Cat. No.01EX482)*, pages 15–19, 2001.
- [18] J. A. Sobrino, R. Oltra-Carrió, J. C. Jiménez-Muñoz, Y. Julien, G. Sòria, B. Franch, and C. Mattar. Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach : Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18 :141–147, August 2012.
- [19] J.A. Sobrino, R. Oltra-Carrió, G. Sòria, R. Bianchi, and M. Paganini. Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects. *Remote Sensing of Environment*, 117 :50 – 56, 2012. Remote Sensing of Urban Environments.
- [20] J.A. Sobrino, G. Sòria, R. Oltra-Carrió, J.C. Jiménez-Mu noz, M. Romaguera, J. Cuenca, V. Hidalgo, B. Franch, C. Mattar, Y. Julien, R. Bianchi, M. Paganini, J.F. Moreno, L. Alonso, A. Fernández-Renau, J.A. Gómez, E. de Miguel, O. Gutiérrez, M. Jiménez, E. Prado, R. Rodríguez-Cantano, I.Ruiz, F. Nerry, G. Najjar, P. Kastendeutch, M. Pujadas, F. Molero, A. Martilli, F. Salamanca, F. Fernández, E. Galán, R. Ca nada, E. Hernández, J. Hidalgo, J.A. Acero, J.M Romero, F. Moya, and L. Gimeno. Desirex 2008 final report, 3 2009.
- [21] José A. Sobrino, Juan C. Jiménez-Muñoz, Pablo J. Zarco-Tejada, Guadalupe Sepulcre-Cantó, and Eduardo de Miguel. Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 102(1â2) :99 – 115, 2006.
- [22] J.A Voogt and T.R Oke. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3) :370 – 384, 2003. Urban Remote Sensing.
- [23] James Voogt. *Urban Heat Islands*, volume 3, pages 660–666. John Wiley & Sons, 2000.
- [24] Qihao Weng. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies : Methods, applications, and trends. *{ISPRS} Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4) :335 – 344, 2009.